

基于 PSCAD/EMTDC 和 LabWindows/CVI 的 输电网故障数据模拟平台

何文¹, 何正友¹, 陈珂宁²

(1. 西南交通大学电气工程学院, 四川 成都 610031; 2. 清华大学电机工程与应用电子技术系, 北京 100084)

摘要: 利用 PSCAD/EMTDC 建立输电网仿真模型、继电保护模型以及时序控制模型, 完成仿真故障数据的生成和多重复杂故障、保护误动、拒动及信息丢失的模拟, 并通过 LabWindows/CVI 编写软件, 将仿真得到的各种故障数据由从机端发送至主机端, 在主机端进行波形分析和数据处理。通过该平台, 可以准确地模拟输电网发生各种类型故障的整个过程, 模拟 SCADA 和 RMS (保护信息管理系统) 获得的故障数据。测试表明, 开发的输电网故障数据模拟平台能够模拟单一和多重复杂故障、保护误动与拒动、信息丢失等实际情况, 且操作简单、参数调节方便、界面直观。

关键词: 输电网; 故障诊断算法; 模拟平台; 故障数据; PSCAD/EMTDC; LabWindows/CVI

A fault data simulation platform for power transmission network based on PSCAD/EMTDC and LabWindows/CVI

HE Wen¹, HE Zheng-you¹, CHEN Ke-ning²

(1. College of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

2. Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: PSCAD/EMTDC is used to establish a simulation model of power transmission network, relay protection and timing control in this paper. With this set of model, multiple faults, protection maloperation/misstrip, information loss can be simulated and a generation of fault data is available. Then, a set of software is compiled in LabWindows/CVI, and various simulation data received from slave computer will be applied to waveform analysis and data processing at host computer finally. It is very convenient to simulate the entire process of the relay protection of power transmission network correctly after several kinds of faults, and simulate the data obtained by SCADA and RMS (Relay Management System). Test results allow us to make the conclusion that many complicated conditions, which consist of single faults, multiple faults, protection maloperation/misstrip, information loss and so on, can be simulated by this fault data simulation platform, which is easy to operate, and has some properties of convenient parameter changing and intuitive interface.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 50877068).

Key words: power transmission network; fault diagnosis algorithm; simulation platform; fault data; PSCAD/EMTDC; LabWindows/CVI

中图分类号: TM711 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2011)02-0112-07

0 引言

现代电网对安全稳定水平的要求越来越高, 要求调度人员能够对电网中的突发故障及时地进行处理。然而, 电网故障时产生信息量大、故障类型复

杂以及保护、开关存在误动与拒动等复杂情况, 让运行人员在紧张的心理状态下难以正确快速地识别故障, 因此电网故障诊断系统^[1-3]的建立对实现电网故障的自动快速诊断显得如此重要。而故障诊断算法是电网故障诊断的核心, 快速、准确的诊断算法可以更好地适应电力系统的复杂工况以及各种不确定性。目前, 国内外众多学者在电网故障诊断算法方面作出了卓有成效的研究工作, 取得了丰硕的成果, 这些算法考虑了故障的复杂性和信息的不确定

基金项目: 国家自然科学基金项目 (50877068); 四川省杰出青年基金项目 (06ZQ026-012); 教育部优秀新世纪人才支持计划项目 (NCET-06-0799)

性^[4-13]。然而,大量的算法研究由于缺乏有效的现场故障数据予以验证,即使是应用现场数据验证,也没有完备地考查故障的复杂性和信息不确定性。因此,研究和开发一个电网故障数据模拟系统是必要的。

PSCAD/EMTDC 是一款应用灵活、功能强大、操作简单的电力系统电磁暂态仿真软件,既可以进行一般的交流电力系统电磁暂态研究,又可以进行复杂电力系统的故障建模及故障仿真。而 LabWindows/CVI 是一个完全的 ANSIC 开发环境,适用于仪器控制、数据采集、分析和用户界面开发。基于此,为了更好地进行故障诊断算法的研究,本文运用 PSCAD/EMTDC 和 LabWindows/CVI,开发了输电网故障数据模拟平台,模拟 SCADA 和 RMS (Relay Management System) 得到的数据,得到大量接近真实的数据信息,具有一定理论、实用意义。首先,选用 PSCAD/EMTDC 来建立输电网模型,仿真得到故障数据;其次,应用 LabWindows/CVI 进行编程,构建主从机之间的数据通信;再通过从机采集故障仿真数据,将数据发送至主机进行分析;最后,关联数据库软件 SQL Sever 将录波数据进行存储,以便随时使用、查询。

1 故障数据模拟平台总体结构设计

构建的输电网故障数据模拟平台(以下称“平台”)主要分为两个部分:一是故障数据仿真模型;二是故障数据模拟软件。整个平台使用到 PSCAD/EMTDC、LabWindows/CVI 和 SQL Server 2005 三种软件,结构相互关联,平台总体结构如图 1 所示。

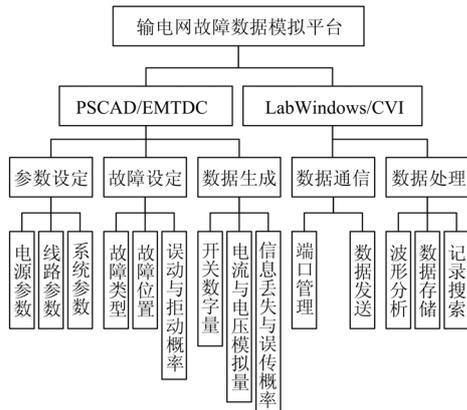


图 1 故障数据模拟平台总体结构图

Fig.1 Overall structure diagram of the fault data simulation platform

参数设定部分主要包括线路参数、电源参数以及仿真时间、步长等参数的设置;故障设定可以对

故障类型、故障位置、接地电阻、故障发生时间、误动概率和拒动概率等进行设定;数据生成部分得到电流、电压的模拟量和保护、断路器的数字量;数据通信部分将模拟 SCADA 系统中的执行端与调度端之间通信,将保护和断路器动作信息、故障录波信息由从机发送至主机;数据处理部分主要是对上传至调度端的数据进行处理,包括波形分析、数据存储和记录搜索等。下面将对故障数据仿真模型和故障数据模拟软件分别进行说明。

2 基于 PSCAD/EMTDC 故障数据仿真模型

文中需要建立输电网仿真模型、继电保护模型以及时序控制模型,完成仿真数据的生成和保护误动、拒动及信息丢失的模拟。

2.1 输电网仿真模型

利用 PSCAD/EMTDC 建立了一个 220 kV 输电网仿真模型^[14]来得到故障数据,如图 2 所示。系统频率为 50 Hz,每条输电线路长度为 100 km,采用三相三线制架空线 Bergeron 模型,电源和线路的参数如下:

$$U=230 \text{ kV}, S=100 \text{ MVA}, \varphi_{G1}=0^\circ, \varphi_{G2}=30^\circ$$

$$R_1=7.05 \times 10^{-2} \Omega/\text{km}, C_1=0.861 \times 10^{-2} \mu\text{F}/\text{km},$$

$$L_1=1.274 \text{ mH}/\text{km}, R_0=32.2 \times 10^{-2} \Omega/\text{km}, C_0=0.605 \times 10^{-2} \mu\text{F}/\text{km}, L_0=3.822 \text{ mH}/\text{km}$$

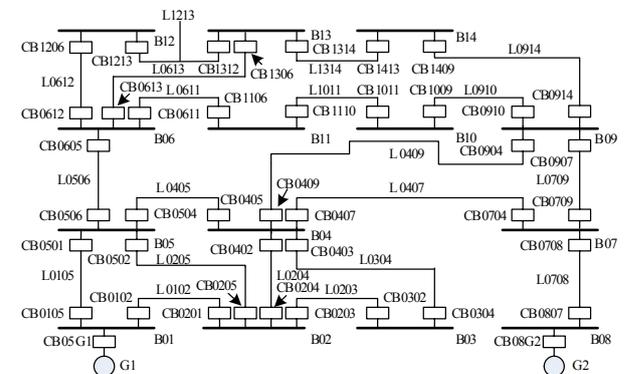


图 2 220 kV 输电网仿真模型

Fig.2 Simulation model for 220 kV transmission line system

为了实现对整个 14 节点输电网的各种故障工况的模拟,本文在输电网仿真模型中通过 N 组故障控制模型来控制 20 条线路和 14 个母线上的短路故障情况。当 $N=2$ 时,即每条线路中点设置 2 个故障模块,就可以实现双重故障工况的模拟。当然,需要增加故障的复杂性时,只需增加故障控制模型的组数 N 和改变故障设定,如故障类型、接地电阻和故障时间。

2.2 继电保护模型

当使用PSCAD/EMTDC仿真电力系统短路故障时，通常会设定故障的开始时间和持续时间，即故障发生和故障排除的时间，从而机械化地模拟保护和断路器的动作情况。当电网发生保护误动、拒动等复杂情况时，传统的做法不能满足仿真各种故障的要求。同时，针对电流差动保护原理，PSCAD/EMTDC 仅提供了双斜率电流差动保护元件，而该元件不能满足本文仿真的需要。为了使保护元件可以自动识别故障和判定动作条件，灵活地仿真各种故障，本文根据继电保护算法^[15-16]和自定义继电器模块的方法^[17-18]编写了距离保护、比率特性线路相电流纵联差动保护、复式比率制动特性母线差动保护三种元件模型，如图3所示。

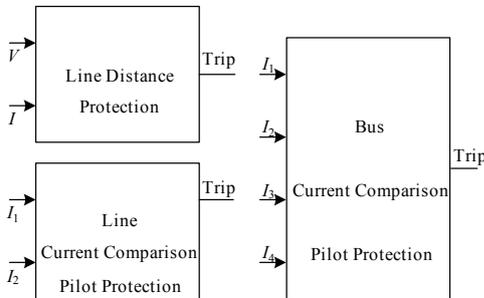


图3 距离保护模块和电流差动保护模型

Fig.3 Models of distance protection and current differential protection

2.3 时序控制模型

继电保护模型是模拟电力系统继电保护的关键，但仅有保护模块并不能模拟故障发生的全过程。本文利用时序逻辑元件，搭建时序模型控制输电网络故障仿真数据模型中各种事件的发生顺序及逻辑关系，模拟了各种故障的全过程，其流程如图4所示。

2.4 保护误动、拒动及信息丢失或误传的模拟

电网中可能会出现保护误动、拒动及信息丢失的情况，而在 PSCAD 元件库中，没有模拟上述情况的模块。本文通过随机数和设定的概率来改变信息的逻辑值，结果具有不确定性，其原理如图5所示。

由图5可知，模拟保护误动首先需要设定初始概率 P ($0 \leq P \leq 1$)，包括保护误动的概率、拒动的概率以及信息丢失或误传的概率；再次，设置元件随机产生 $0 \sim 1$ 之间的实数 R ；第三，比较概率 P 与随机数 R 的大小，输出结果 Z 。如果 $R \geq P$ ，则 $Z=1$ ；如果 $R < P$ ，则 $Z=0$ 。最后，利用逻辑门元件，将输出结果 Z 与原保护动作信号进行逻辑运算，得到新

的保护动作信息，实现了保护信息逻辑值的改变，从而模拟保护误动的情况。模拟保护拒动、信息丢失或误传的原理与图5相似，这里不再重复说明。

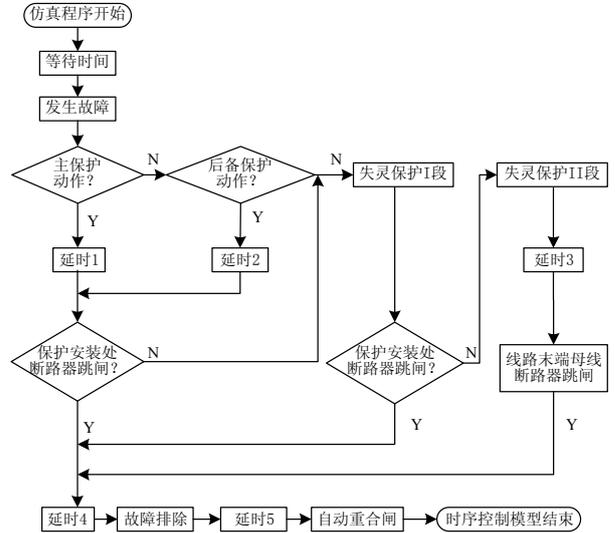


图4 时序控制模型流程图

Fig.4 Flow chart of timing control model

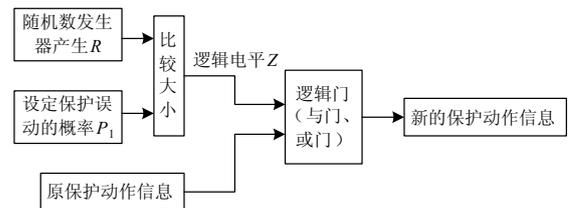


图5 模拟保护误动的原理框图

Fig.5 Principle diagram of simulation protection maloperation

3 基于 LabWindows/CVI 和 SQL Sever 的故障数据模拟软件

在实际 SCADA 系统中，执行端会不断地将采集得到的大量电网数据信息发送给调度中心。本文利用 LabWindows/CVI 编写软件模拟了这一过程，将仿真得到的各种故障数据由机端发送至主机端，最后在主机端进行波形分析和数据处理等。

3.1 数据通信

本文构建的主从机之间数据通信采用 TCP/IP 通信协议，简称 TCP 通信，主要包含三个关键技术：通信结构、数据分包和数据分类。

1) 通信结构

TCP 通信需要有两个实体，这两实主体就是 TCP 通信的服务器端和客户端，每一次连接都包括一个服务器应用程序和客户端应用程序。在本文编写的软件中，后台主机担任了服务器的角色，而前台从机则相应担任了客户端的角色，其 TCP 通信结构如图6所示。

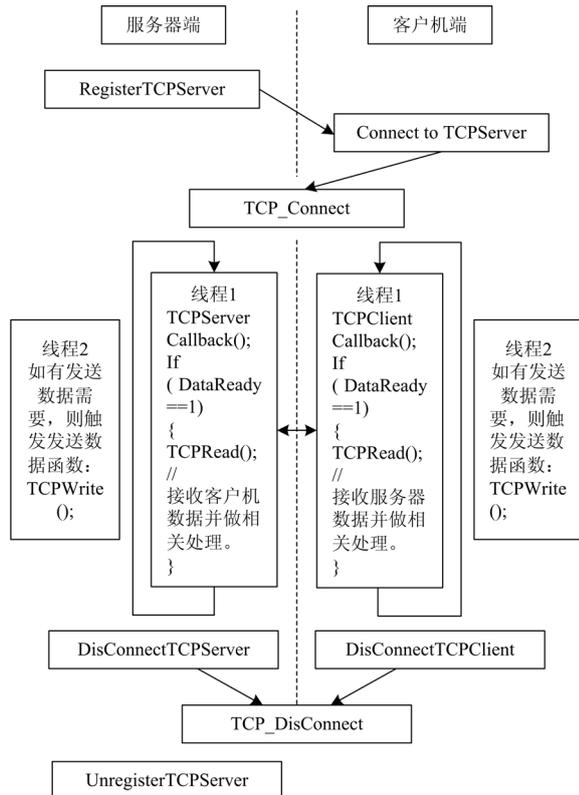


图6 故障数据模拟软件的TCP通信结构

Fig.6 TCP communication structure of the fault data simulation software

2) 数据包

上面说明了如何建立服务器与客户机之间的通信结构,建立通信连接之后,需要调用TCP函数库的TCP函数,确定传送的总字节数、传送数据流的首地址指针,即可以进行数据的传送。但是对于TCP通信而言,每一次数据的传送上限是8000字节,这样的字节量上限对模拟电网运行数据的传送来说,显然是远远不够的。所以,要对需要传送的数据流进行分包传送。

分包传送需要先确定传送的数据的总字节数 len 、首个数据包发送的首地址 pos ,发送数据包数值 ret 除最后一次发送均为8000。在程序中可以用一个while循环,条件就是 $len > 0$,每一次循环, $pos = pos + ret$; $len = len - ret$,直至数据发送完,即 $len \leq 0$ 。

3) 数据分类

作为服务器的后台主机与作为客户机的前台从机之间要相互传递各种各样的数据,这些不同类型的数据通过TCP通信在主从机之间传递,而TCP通信只能传递单字节型的字符,如果要传送其他类型的数据,需要按照 $char^* pos$ 、 $pos = (char^*)a$ 进行强行转换再传送,这是首先需要解决的。

其次,在接收端接收到数据时,该数据也是单

字节字符形式的,要获得通信之前的数据真貌,必须要进行还原。本文采用的方法是在需要传递的数据内容之前加一个英文字符,以区分各种不同的数据内容及功能,见表1。

表1 数据流首字节对应功能

Tab.1 Functions corresponding to first byte of data-flow

主机端接收首字节	相应功能
a	断路器新情况信息,需要主机予以相应的显示与处理
c	断路器或保护情况的采样点信息,需要主机予以处理
f	保护新情况信息,需要主机予以相应的显示与处理
t	会话信息,需要稍作处理后进行显示
其他	模型运行数据信息,放在缓冲中以供其他程序调用
从机端接收首字节	相应功能
b	新命令信号,主机要求从机发送指定的波形数据
e	新命令信号,主机要求从机发送指定的录波数据文件
其他	会话信息

3.2 数据存储

故障数据模拟软件与SQL数据库进行关联,为的是更方便地存储重要信息以及调用关键数据。每个节点各相的COMTRADE录波格式的配置信息、断路器情况记录、保护情况记录以及生成的COMTRADE录波格式数据文件的记录都将存储在数据库中,随时可以被软件所调用^[19]。

配置文件的存储分为三个部分:第一行的站点信息部分;中间的模拟量与数字量信息部分;最后7行的频率与时间等信息部分。所以,在数据库中建立三种表来存储配置文件的内容。以模拟量与数字量信息部分的数据存储为例,如图7所示。

numid	int1	char1	char2	char3	char4	float1	float2	float3	int2	int3
1	15	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	10	5
2	1	I02043a: A1	A	A1	KA	0.0008...	-1.74199	0	0	4096
3	2	I03041a: A2	A	A2	KA	0.0005...	-0.917...	0	0	4096
4	3	I04053a: A3	A	A3	KA	0.0009...	-1.97932	0	0	4096
5	4	I04071a: A4	A	A4	KA	0.0013...	-2.63885	0	0	4096
6	5	I04091a: A5	A	A5	KA	0.0005...	-1.14899	0	0	4096
7	6	V02043a: A6	A	A6	KV	0.109901	-238.07	0	0	4096
8	7	V03043a: A7	A	A7	KV	0.0920...	-189.02	0	0	4096
9	8	V04053a: A8	A	A8	KV	0.0991...	-200.214	0	0	4096
10	9	V04071a: A9	A	A9	KV	0.0947...	-193.36	0	0	4096
11	10	V04091a: ...	A	A10	KV	0.0947...	-190.523	0	0	4096
12	1	CB0402: D1	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	0	NULL
13	2	CB0403: D2	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	0	NULL
14	3	CB0405: D3	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	0	NULL
15	4	CB0407: D4	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	0	NULL
16	5	CB0409: D5	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	0	NULL

图7 在数据库中存储的模拟量与数字量信息

Fig.7 Analog and digital information saved in SQL Server

3.3 数据搜索

在SQL Server数据库中,有很多种方法可以实现对于记录的搜索,典型例子如 `select * from`

tablename where columnname like ' %XX%'。在 LabWindows/CVI 编程中，也是类似的应用，只是形式变为：Htable=DBActivateSQL(hdbc, " select * from tablename where columnname like ' %XX%' ")。但是，本文的搜索情况不同，需要搜索的关键字事先是不知道的，关键字的获取应该是通过操作人员在软件界面上输入的，预先不可能把所有所搜情况编入程序，这个问题通过如下步骤来解决。

1) 定义一个存放 SQL 查询命令语句的字符数组并初始化如下：char command[100]=select * from tablename where columname like ' %'；

2) 初始化搜索部分；char search[10] = " % " // 加上前一个%；

3) 等待界面上的输入，获取查询的关键字：GetCtrlVal(...,keyword)；

4) 连接上关键字：strcat(search,keyword), strcat(search, " % ")// 连接上后一个 % , sprintf(command, " select * from tablename where columnname like ' %s' " , search)//这里%s的值已经为%XX%形式的 search 字符串代替；

5) 最后形成完整的命令：htable=DBActivateSQL(hdbc,command)//执行搜索命令。

4 故障数据模拟平台的实现

4.1 故障数据模拟平台的原理

故障数据模拟平台的设计思路为在 PSCAD/EMTDC 中进行参数和故障的设定，仿真输电网络故障情况得到电流、电压的数据和保护、断路器的动作信息；LabWindows/CVI 采集数据信息，在从机端进行分析判断与显示；再通过 TCP 通信将分析结果上报至主机端，主机端可以鉴于上报的分析结果命令从机上传数据信息并显示；最后，在主机端通过后台的 SQL Server 完成数据信息及其配置文件的记录，故障数据模拟平台的原理如图 8 所示。

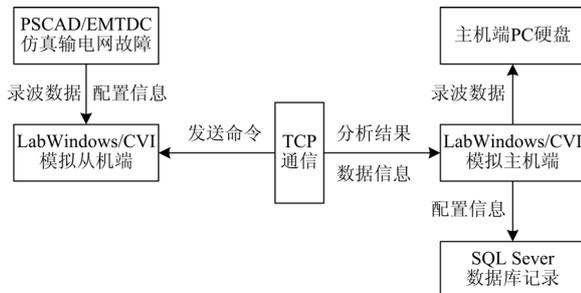


图 8 故障数据模拟平台的原理框图

Fig.8 Principle diagram of the fault data simulation platform

4.2 故障数据模拟平台的设计要求与功能

故障数据模拟平台将 PSCAD/EMTDC 和 SQL Sever 作为后台工具，利用前台的主机和从机两个面板，实现了以下功能：

1) 能够利用 PSCAD/EMTDC 仿真得到故障时的电流、电压数据信息和保护、断路器的动作信息；

2) 可以设置单一、多重故障，可以设置保护误动和拒动概率，可以设置信息丢失或误传概率，进行多次仿真；

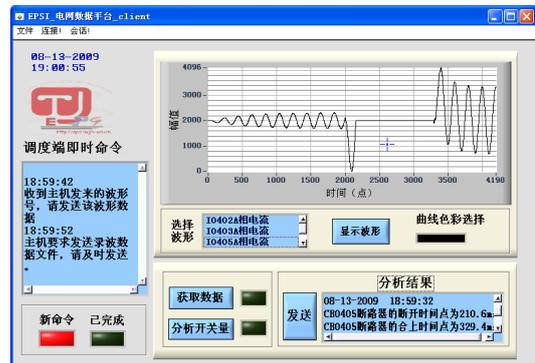
3) 能够通过 LabWindows/CVI 采集故障信息，并在从机端进行显示和分析判断；

4) 从机端能够接受主机端的命令通过 TCP 通信将故障信息上传主机端；

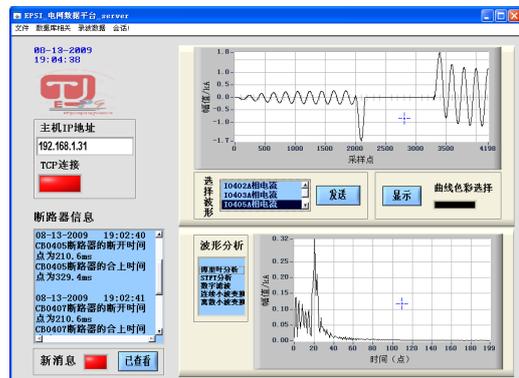
5) 能够记录数据和查询。

4.3 功能实现

故障数据模拟平台的界面如图 9 所示，分为从机端和主机端。从机端可以获取数据、分析断路器情况、显示波形和上传分析结果和数据。而主机端可以查看从机端上报的分析结果，并实现显示波形、分析波形、数据记录和记录查询等功能。



a) 从机端面板



b) 主机端面板

图 9 当母线 04 发生 A 相接地短路故障时，输电网络故障数据模拟平台前界面

Fig.9 Foreground panel of the fault data simulation platform for power transmission networks when A phase to ground short circuit occurs in Bus04

图9所示为从机端获取了输电网04节点的录波数据和断路器信息,分析出断路器CB0402、CB0403、CB0405、CB0407和CB0409均有动作,同时主机端显示分析结果。主机端向从机端发送命令上传录波数据,由显示的I0405 A相电流可以看出,电网于200 ms时刻左右发生短路故障,约330 ms时刻故障排除,与从机端的分析结果一致。

5 结论

本文开发了输电网故障数据模拟平台,利用PSCAD/EMTDC软件来仿真得到输电网故障数据,通过LabWindows/CVI构建主从机之间的TCP/IP通信结构,模拟了调度端和执行端之间的数据通信,最后对大量的仿真数据进行处理和记录。相对于通过现场获取,本文提出的方法可以便捷准确地得到接近实际的电网故障数据,以用于电力系统故障诊断算法的研究。大量的模拟检测表明:本文开发的输电网故障数据模拟平台能够模拟单一和复杂故障、保护误动与拒动、信息丢失与误传等实际情况,且具有操作简单易懂,故障设置和不确定性概率参数调节方便等优点。

参考文献

- [1] 杜一,张沛超,郁惟镛,等.基于故障录波数据的分布式电网故障诊断系统[J].继电器,2003,31(1):26-29,38.
DU Yi, ZHANG Pei-chao, YU Wei-yong, et al. A distributed power system fault diagnosis system based on recorded fault data[J]. Relay, 2003, 31(1): 26-29, 38.
- [2] 周明,任建文,李庚银,等.基于模糊推理的分布式电力系统故障诊断专家系统[J].电力系统自动化,2001,24:33-36.
ZHOU Ming, REN Jian-wen, LI Geng-yin, et al. Distributed power system fault diagnosis expert system based on fuzzy inference[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 24: 33-36.
- [3] 崔巍,程道,石东源,等.电力系统故障信息综合应用系统的研究[J].电力自动化设备,2004,24(5):27-30.
CUI Wei, CHENG Xiao, SHI Dong-yuan, et al. Research on power system fault information integrated application system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(5): 27-30.
- [4] 廖志伟,孙雅明.基于事件序列数据挖掘原理的高压输电线系统故障诊断(一)模型与算法[J].电力系统自动化,2004,28(4):22-27.
LIAO Zhi-wei, SUN Ya-ming. A new data mining approach for fault diagnosis of HV transmission line system based on sequence of events part one model and method[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(4): 22-27.
- [5] 孙静,秦世引,宋永华.一种基于Petri网和概率信息的电力系统故障诊断方法[J].电力系统自动化,2003,27(13):10-15.
SUN Jing, QIN Shi-yin, SONG Yong-hua. A fault diagnosis method for power systems based on petri nets and probability information[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(13): 10-15.
- [6] 汤磊,孙宏斌,张伯明,等.基于信息理论的电力系统在线故障诊断[J].电机工程学报,2003,23(7):5-11.
TANG Lei, SUN Hong-bin, ZHANG Bo-ming, et al. Online fault diagnosis for power system based on information theory[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(7): 5-11.
- [7] 毕天姝,倪以信,吴复立,等.基于新型神经网络的电网故障诊断方法[J].电机工程学报,2002,22(2):73-78.
BI Tian-shu, NI Yi-xin, WU Fu-li, et al. A novel neural network approach for fault section estimation[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(2): 73-78.
- [8] 王林先,李乃永.基于粗糙集理论和故障信息网的电网故障诊断方法[J].继电器,2008,36(8):59-63.
WANG Lin-xian, LI Nai-yong. A power network fault diagnosis method based on rough set theory and fault information networks [J]. Relay, 2008, 36(8): 59-63.
- [9] 吴欣,郭创新,曹一家.基于贝叶斯网络及信息时序属性的电力系统故障诊断方法[J].中国电机工程学报,2005,25(13):14-18.
WU Xin, GUO Chuang-xin, CAO Yi-jia. A new fault diagnosis approach of power system based on Bayesian network and temporal order information[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(13): 14-18.
- [10] 曾庆锋,何正友,杨健维.基于有色Petri网的电力系统故障诊断模型研究[J].电力系统保护与控制,2010,38(14):5-11.
ZENG Qing-feng, HE Zheng-you, YANG Jian-wei. Fault diagnosis model of electric power systems based on coloured Petri net[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(14): 5-11.
- [11] 何赞峰,赵冬梅,高曙,等.一种基于故障录波信息的电网故障诊断方法[J].电网技术,2002,26(5):39-43.
HE Zan-feng, ZHAO Dong-mei, GAO Shu, et al. A power system fault diagnosis method based on recorded fault data[J]. Power System Technology, 2002, 26(5): 39-43.
- [12] Ching-Lai Hor, Crossley P A, Watson S J. Building knowledge for substation-based decision support using rough sets[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2007, 22(3): 1372-1379.
- [13] 朱传柏,郭创新,曹一家.基于调度综合数据平台的大规模电网分层故障诊断[J].电力系统自动化,2009,

- 33(1): 51-55, 65.
ZHU Chuan-bai, GUO Chuang-xin, CAO Yi-jia. Hierarchical fault diagnosis model of a large-scale power system based on dispatch integrated information platform[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(1): 51-55, 65.
- [14] XU Luo. Power system fault analysis based on intelligent techniques and intelligent electronic device data[D]. Texas: A&M University, 2007.
- [15] 苗世洪, 刘沛. 超高压输电线路的自适应保护判据[J]. 电网技术, 2008, 32(10): 43-49.
MIAO Shi-hong, LIU Pei. Adaptive protection criterion for EHV transmission lines[J]. Power System Technology, 2008, 32(10): 43-49.
- [16] Liu J F, Wilson P L, Jayasinghe R P. A PSCAD/EMTDC based simulation study of protective relay[C]. //Eighth IEE International Conference on Developments in Power System Protection. 2004: 264-267.
- [17] Perez S G A, Sachdev M S, Sidhu T S. Modeling relays for use in power system protection studies[C]. // Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering. 2005: 566-569.
- [18] Haiguo Piao, Zhixin Wang. Simulative study of a new control algorithm for yawing control system with PSCAD[C]. //DRPT 2008. Third International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies. 2008: 2734-2738.
- [19] 杨洋, 唐睿, 吕飞鹏. 基于COMTRADE格式的故障录波分析软件设计[J]. 继电器, 2008, 36(7): 67-70, 74.
YANG Yang, TANG Rui, Lü Fei-peng. Fault recording analysis software design based on COMTRADE format[J]. Relay, 2008, 36(7): 67-70, 74.
-
- 收稿日期: 2010-01-13; 修回日期: 2010-05-21
- 作者简介:
何文(1986-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统继电保护, 故障诊断; E-mail: hw_xuan@163.com
何正友(1970-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事信号处理和信息理论在电力系统故障分析中的应用、新型继电保护原理、配网综合自动化等方向的研究;
陈珂宁(1986-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统调度自动化。
-
- (上接第 97 页 continued from page 97)
- WEN Yang-dong, WANG Xin. Effect of distributed generation on protection in distribution system[J]. Relay, 2008, 36 (1): 12-14, 26.
- [7] 张超, 计建仁, 夏翔, 等. 分布式发电对配电网继电保护及自动化的影响[J]. 华东电力, 2006, 34 (9): 23-26.
ZHANG Chao, JI Jian-ren, XIA Xiang, et al. Effect of distributed generation on relay protection and automation of distribution network[J]. East China Electric Power, 2006, 34 (9): 23-26.
- [8] Elmarkabi, Ismail Mohamed. Control and protection of distribution networks with distributed generators[J]. UMI Microform, 2004.
- [9] Jose C M, Vieira, Waldir Freitas, et al. Performance of frequency relays for distributed generation protection[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2006, 21 (3): 1120-1127.
- [10] Keith Malmedal, Sen, JohnP, et al. Application of out-of-step relaying for small generators in distributed generation[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2005, 41 (6): 1506-1514.
- [11] Freitas Waldir, Xu Wilsun, Huang Zhenyu, et al. Comparative analysis between ROCOF and vector surge relays for distributed generation applications[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2005, 20 (2): 1315-1124.
- [12] 张超, 计建仁, 夏翔. 分布式发电对配电网馈线保护的影响[J]. 继电器, 2006, 34 (13): 9-12.
ZHANG Chao, JI Jian-ren, XIA Xiang. Effect of distributed generation on the feeder protection in distribution network[J]. Relay, 2006, 34 (13): 9-12.
- [13] 王希舟, 陈鑫, 罗龙, 等. 分布式发电与配电网保护协调性研究[J]. 继电器, 2006, 34 (3): 15-19.
WANG Xi-zhou, CHEN Xin, LUO Long, et al. Research on the coordination of distributed generation and distribution system protection[J]. Relay, 2006, 34 (3): 15-19.
- [14] 王志群, 朱手真, 周双喜, 等. 分布式发电对配电网电压分布的影响[J]. 电力系统自动化, 2004, 28 (16): 56-60.
WANG Zhi-qun, ZHU Shou-zhen, ZHOU Shuang-xi, et al. Impacts of distributed generation on distribution system voltage profile[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28 (16): 56-60.
-
- 收稿日期: 2010-01-24; 修回日期: 2010-05-18
- 作者简介:
贾伟(1985-), 男, 硕士研究生, 主要从事电力系统继电保护的研究; E-mail: jiawei.66@stu.xjtu.edu.cn
张永生(1986-), 男, 工程师, 主要从事电网运行分析工作;
吴寿山(1984-), 男, 硕士研究生, 主要从事电力系统继电保护的研究。